

補助事業番号 2021M-111

補助事業名 2021年度 自己修復性を有する超高耐食性塗膜の実現に向けた修復剤内包カプセルの開発 補助事業

補助事業者名 旭川工業高等専門学校 物質化学工学科 准教授 千葉 誠

1 研究の概要

アルミニウム合金は軽量、また強度などの機械的特性や加工性に優れ、加えて金属特有の光沢に由来する高級感から、自転車フレーム材料として高い人気を誇っている。しかし、長期利用時には、この腐食が進行することで材料機能や安全性、表面光沢が失われることが懸念されるため、金属材料の防食が非常に重要となる。従来、耐食性を向上させるため、塗装などの表面処理が用いられてきたが、利用時にこれら表面処理層に外的要因等で欠陥が生じると、その部位では下地金属が露出しているため、金属の局部腐食が進行する。このため、耐食性の向上には表面処理層に欠陥が形成したさいには速やかに再処理などで欠陥を補修する必要があるが、これには甚大な人的、経済的コストがかかることになる。このような観点から耐食性を長期間維持することができる新規表面処理層開発が広く求められている。そこで我々は、欠陥形成時に外部よりなんの処置をしなくても表面防食層が再生する、いわゆる“自己修復機構”を有する防食塗膜の開発を目指し、研究を行っている。ここで我々の研究室で開発する塗膜の自己修復機構は以下の通りである。まず、あらかじめ塗膜に塗膜修復剤内包カプセルを分散させた塗膜を形成する。このような塗膜に欠陥が形成すると、カプセルも同時に破損し内部より修復剤が欠陥部に流出する。これが空気中の水分と反応することで塗膜欠陥部に修復構造を形成するとともに露出金属部を被覆することで欠陥形成時にもなお塗膜形成による高耐食性が維持されるというものである。ここで、このような自己修復機構より、塗膜の自己修復性および耐食性において、カプセルに内包される修復剤量がメインパラメータとなることが容易に予想できる。また、これまでの研究より、カプセル合成条件より形成されるカプセルサイズ、あるいは形状を制御することが明らかとなっており、これらとカプセルに内包される修復剤量の関連を明らかにすることは、超高耐食性自己修復性塗膜の実現に不可欠であると考えられる。そこで本研究では示差熱重量同時測定を用いカプセルに内包される修復剤容量を定量的に評価し、これらとカプセル径および形状の関連を明らかにする。加えて、これらとカプセル分散塗膜の自己修復性、および耐食性の関連を明らかにすることで、塗膜に欠陥が生じたさいにもピット形成等の局部腐食が生じず、かつ耐食性が欠陥のない防食用塗膜の90%以上という、超高耐食性自己修復性塗膜を実現する。

2 研究の目的と背景

アルミニウム合金は軽量、かつ機械的特性に優れ、金属特有の光沢に由来する高級感から自転車フレーム材料として高い人気を誇っている。しかし、長期利用時には腐食による性能や安全性の低下などが懸念される。この耐食性を向上させるため、塗装が広く用いられているが、塗膜層に欠陥が生じると、その部位では下地金属が露出しているため、局部腐食による機能の低下や

外観の悪化が起きる。これを防ぐには、塗膜層に欠陥が形成したさいには速やかな欠陥補修が必要であるが、これにはこまめなメンテナンスと補修が必要であり、大きなコストがかかる。

そこで本研究ではアルミニウム合金フレームの長寿命化を目指し、塗膜に欠陥が形成したさいに外部よりなんの処置をしなくても欠陥部が自己修復される超高耐食性防食用塗装の開発を行う。これは塗膜修復剤内包カプセルを分散させた塗膜であり、これに欠陥が生じるとカプセルに内包された塗膜修復剤が欠陥部へ流出し、これが反応することで修復構造を形成し、塗膜を再生させ下地金属露出部位を被覆し、塗膜形成による高耐食性が維持できるというものである。

これまでの研究よりカプセルのサイズや形状に相当する扁平率は攪拌速度、プレポリマーの合成条件等のカプセル合成条件により変化することが明らかとなっている。本研究では示差熱重量同時測定装置を用い、塗膜の自己修復性に対するキーパラメータとなるカプセル中の修復剤内包量を定量的に評価し、これとカプセル合成条件との関連を明らかにする。さらに、種々条件で合成したカプセルを分散させた塗膜の自己修復性、および欠陥形成時の耐食性を評価することで、これらの関連を明らかにし、高自己修復性、高耐食性塗膜を実現する。

3 研究内容 (<https://researchmap.jp/0073998>)

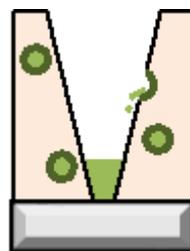
自己修復性を有する超高耐食性塗膜の実現に向けた修復剤内包カプセルの開発

自己修復性を有する金属防食用塗膜の開発を目指し、研究を行なった。ここでは塗膜修復剤を内包したカプセルを分散させることで塗膜に欠陥が生じたさいにもすみやかに欠陥部に自己修復構造を形成することで、高耐食性を長期間にわたり、維持することができるものである。本研究では、このような皮膜の自己修復性、欠陥形成後の耐食性に及ぼすカプセル形態、構造の関連について調査を行なった。

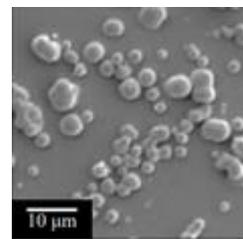
本研究の成果として自己修復性を有する防食用塗膜の開発に成功した。このような表面層を形成することで、表面層に欠陥が形成したさいにも耐食性が維持されることが表面観察、および腐食試験より明らかとなった。このような自己修復性、ならびに耐食性は分散させるカプセルサイズ、ならびに形状により大きく変化することもわかった。



塗膜欠陥の自己修復



塗膜の自己修復機構



修復剤内包カプセル

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

上記の通り、これまで用いられてきた防食用表面層とは全く異なる自己修復性という特性を有するものの開発に成功した。これが実用化されれば、よりアルミニウム材料が用いられている環境、

例えば自転車のフレームなどの圧倒的な長寿命化が実現できるものと考えられる。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者である千葉は、これまでも自己修復性を有する金属防食層の開発を行ってきた。その一方で、本研究で実施した分散カプセル形態や構造と塗膜の自己修復性、耐食性の関連を明らかにすることで塗膜形成による金属材料の長寿命化に向けた大きな一歩になるものと確信している。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

1. Koshiro Suzuki・Yuki Tsuji・Makoto Chiba*・Hideaki Takahashi, Development of Spherical/Fiber Mixed Capsules for Self-Healing Coating to Improve Corrosion Protection of Substrate Metal, Proceedings of the 21th Chitose International Forum on Photonic Science and Technology, 10-15 (2022).
2. 古川優花・鈴木幸四郎・平澤晃大・河村弥季・兵野篤・千葉誠*・高橋英明, 修復剤内包カプセル分散塗膜の自己修復性とカプセル添加量との関連, 2021 年度日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同サマーセッション, オンライン (2021) 7/15.
3. 鈴木幸四郎・辻湧貴・星敬仁・兵野篤・千葉誠*・高橋英明, 修復剤内包カプセル分散型自己修復性塗膜の修復性とこれに及ぼすカプセル形態の影響, 日本化学会北海道支部 2021年 夏季研究発表会, 函館 (オンライン開催) (2021) 7/19.
4. 古川優花・千葉誠*, 自己修復性防食塗膜の開発 –カプセル添加量の耐食性への影響について–, 日本金属学会第169回秋季講演大会, オンライン (2021) 9/14-17.
5. Makoto Chiba*・Kota Hirasawa・Koshiro Suzuki・Mitsuki Kawamura・Yuki Tsuji・Yumino Tomioka・Haruno Yanagimoto・Atsushi Hyono・Hideaki Takahashi, Advanced coating for corrosion protection of substrate metals –Development of self healing coating– (invited), The 21th Chitose International Forum on Photonic Science and Technology, Chitose (2021) 10/15.
6. Koshiro Suzuki・Yuki Tsuji・Atsushi Hyono・Makoto Chiba*・Hideaki Takahashi, Development of Spherical/Fiber Mixed Capsules for Self-Healing Coating to Improve Corrosion Protection of Substrate Metal, ibid.
7. 鈴木幸四郎・辻湧貴・河村弥季・兵野篤・千葉誠*, カプセル分散型自己修復性塗膜の耐食性におよぼすカプセル形状と添加量の影響, 第68回材料と環境討論会, オンライン (2021) 10/26–28.
8. Koshiro Suzuki・Yuki Tsuji・Mitsuki Kawamura・Takahito Hoshi・Atsushi Hyono・Makoto Chiba*・Hideaki Takahashi, Self-healing Coating for Corrosion Protection of Substrate Metal by Dispersion with Healing Agent Containing Capsules -Self-Healing Property of Coating and Distribution of Capsules in Coating-,

Materials Research Meeting 2021(MRM2021), Yokohama/Japan, (2021)
12/13-16.

9. 鈴木幸四郎・辻湧貴・河村弥季・兵野篤・千葉誠*, カプセル分散型塗膜の自己修復性, 耐食性とカプセル形態の関連 (ポスター), 化学系学協会北海道支部2022年冬季研究発表会, 札幌[オンライン](2022)1/25-26.
10. 古川優花・鈴木幸四郎・河村弥季・齋藤向葵・古川沙姫・兵野篤・千葉誠*・高橋英明, カプセル分散型自己修復性塗膜におけるカプセル添加量の耐食性への影響 (ポスター), 化学系学協会北海道支部2022年冬季研究発表会, 札幌[オンライン](2022)1/25-26.
11. 鈴木幸四郎・辻湧貴・河村弥季・兵野篤・千葉誠*, 修復剤内包カプセル分散型自己修復性塗膜の欠陥修復性におよぼす分散カプセル形態の影響, 電気化学会第89回大会, オンライン(2022)3/15-17.

7 補助事業に係る成果物

(1)補助事業により作成したもの

なし

(2)(1)以外で当事業において作成したもの

なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 旭川工業高等専門学校

(アサヒカワコウギョウコウトウセンモンガッコウ)

住 所: 〒071-8142

北海道旭川市春光台2条2丁目1-6

担 当 者: 研究協力係主任 宮下優子(ミヤシタユウコ)

担 当 部 署: 総務課研究協力係(ソウムカケンキュウキョウリョクガカリ)

E - m a i l: s_kenkyu@asahikawa-nct.ac.jp

U R L: <https://www.asahikawa-nct.ac.jp>